

REFLECTION/REFRACTION OPTICAL SYSTEM AND PROJECTION ALIGNER

Publication number: JP2002208551 (A)

Publication date: 2002-07-26

Inventor(s): TAKAHASHI TETSUO

Applicant(s): NIPPON KOGAKU KK

Classification:

- international: G02B13/18; G02B13/24; G02B17/08; G03F7/20; H01L21/027; G02B13/18; G02B13/24; G02B17/08; G03F7/20; H01L21/02; (IPC1-7): H01L21/027; G02B13/18; G02B13/24; G02B17/08; G03F7/20

- European: G03F7/20T16

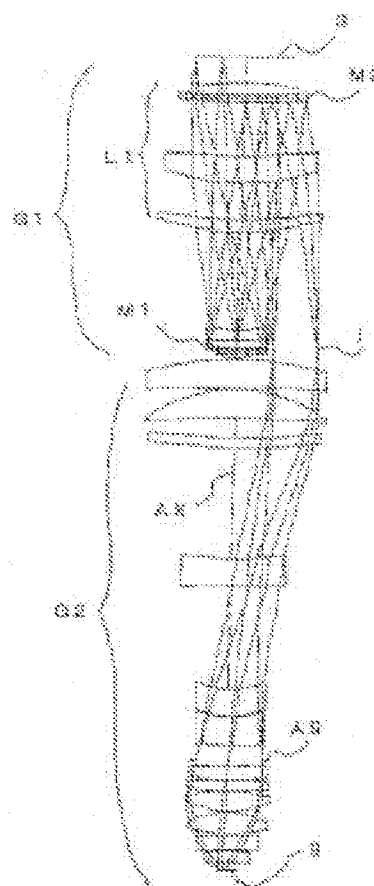
Application number: JP20010002267 20010110

Priority number(s): JP20010002267 20010110

Abstract of JP 2002208551 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a reflection/refraction optical system and a projection aligner having a high NA of 0.6 or above required for high resolution in which chromatic aberration is corrected well even in an extreme ultraviolet region, especially for a wavelength of 200 nm or less, all optical members are arranged on one line and a rectangular exposure field can be formed.

SOLUTION: Image of a first surface is formed on a second surface based on an image side telecentric light beam and two or more even number of reflection planes and at least one refraction member are provided. At least one of odd numbered reflection planes, when counted from the first plane of the even number of reflection planes, is concave and assuming the effective diameter of the concave reflection plane is MA1 and the largest effective diameter of at least one refraction member is RA, following relation is satisfied; $(MA1/RA) \leq (1/2.1)$, and the concave plane is directed oppositely to the second surface.



Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-208551

(P2002-208551A)

(43) 公開日 平成14年7月26日 (2002.7.26)

(51) IntCl ⁷	識別記号	FI	サーチコード [*] (参考)
H01L 21/027		C02B 13/18	2H087
G02B 13/18		13/24	5F046
13/24		17/08	A
17/08		G03F 7/20	S21
G03F 7/20	521	H01L 21/30	S15D

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 15 頁) 最終頁に脱く

(21) 出願番号 特願2001-2267 (P2001-2267)

(22) 出願日 平成13年1月10日 (2001.1.10)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 高橋 哲男

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(74) 代理人 100095957

弁理士 亀谷 美明 (外3名)

Fターム (参考) 2H087 KA21 NA02 RA05 RA12 RA13

RA32 TA01 TA04 TA06 UA04

5F046 CB03 CB12 DA13

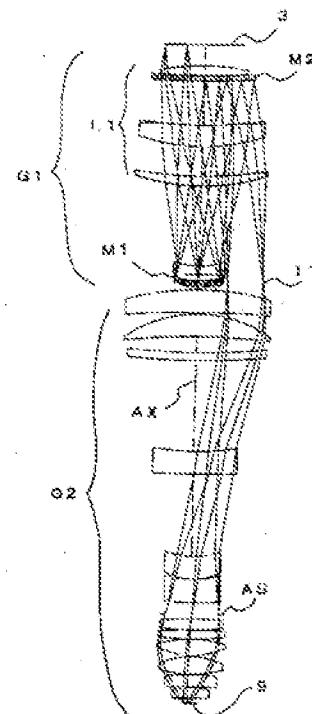
(54) 【発明の名称】 反射屈折光学系及び投影露光装置

(57) 【要約】

【課題】 極紫外領域、特に200nm以下の波長に対しても良好に色収差補正され、高解像に必要な0.6以上の高NAを有し、全ての光学部材が1本の直線上にあり、長方形の露光フィールドを形成可能な反射屈折光学系及び該光学系を備える投影露光装置を提供すること。

【解決手段】 像側テレセントリックな光束に基づいて第1面の像を第2面上に形成し、2つ以上かつ偶数個の反射面と、少なくとも1つの屈折部材とを有し、偶数個の反射面のうち第1面から数えて奇数番目の反射面のうちの少なくとも1つは凹面反射面であり、凹面反射面の有効径をMA1、少なくとも1つの屈折部材のうちの最も有効径が大きな屈折部材の有効径をRAとしたとき、 $(MA1/RA) \leq (1/2, 1)$

を満足し、凹面反射面の凹面は、第2面と反対側に向けられていることを特徴とする反射屈折光学系を提供する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 像側テレセントリックな光束に基づいて第1面の像を第2面上に形成する反射屈折光学系であって、2つ以上かつ偶数個の反射面と、少なくとも1つの屈折部材とを有し、前記偶数個の反射面のうち前記第1面から数えて奇数番目の反射面のうちの少なくとも1つは凹面反射面であり、前記凹面反射面の有効径を MA 、前記少なくとも1つの屈折部材のうちの最も有効径が大きい屈折部材の有効径を RA としたとき、

$$(MA/RA) \leq (1/2, 1)$$

を満足し、前記凹面反射面の凹面は、前記第2面と反対側に向けられていることを特徴とする反射屈折光学系。

【請求項2】 前記反射屈折光学系が有する凹面反射面は、唯一つであることを特徴とする請求項1記載の反射屈折光学系。

【請求項3】 前記凹面反射面の焦点距離を $fM1$ 、前記第1面から前記第2面までの光軸に沿った距離を L としたとき、

$$0.03 < |fM1|/L < 0.2$$

を満足することを特徴とする請求項1または2に記載の反射屈折光学系。

【請求項4】 前記反射屈折光学系は、反射屈折型の第1結像光学系と、前記第1結像光学系と前記第2面との間の光路中に配置された屈折型の第2結像光学系とを備え、前記第1結像光学系は、前記偶数個の反射面のうちの少なくとも2つを有することを特徴とする請求項1乃至3の何れか一項に記載の反射屈折光学系。

【請求項5】 前記第1結像光学系は、少なくとも1つの正レンズ成分を含むレンズ群と、該レンズ群と前記第2結像光学系との間の光路中に配置された第1の反射面と、該第1の反射面と前記第2結像光学系との間の光路中に配置された第2の反射面とを備え、前記第1の反射面は前記凹面反射面のうちの1つを有することを特徴とする請求項4に記載の反射屈折光学系。

【請求項6】 前記第2結像光学系は開口絞りを有し、前記反射屈折光学系が有する全ての光学素子成分は単一の直線状に延びた光軸に沿って配置され、前記反射屈折光学系は前記第1面とほぼ平行な前記第2面上に前記像を形成することを特徴とする請求項4または5に記載の反射屈折光学系。

【請求項7】 前記第2結像光学系の倍率を β としたとき、

$$|\beta| < 1/6, 5$$

を満足することを特徴とする請求項4乃至6の何れか一項に記載の反射屈折光学系。

【請求項8】 前記反射屈折光学系は前記第1面上に光軸から外れた視野を有し、かつ前記第2面上の光軸から外れた領域内に前記像を形成することを特徴とする請求項1乃至7の何れか一項に記載の反射屈折光学系。

【請求項9】 前記第1面上に配置されて所定のパター

ンを有するマスクを照明する照明光学系と；前記所定のパターンの像を前記第2面上に配置された感光性基板上へ投影するための請求項1乃至8の何れか一項に記載の反射屈折光学系と；を備えることを特徴とする投影露光装置。

【請求項10】 前記反射屈折光学系を介して形成される露光フィールドは、長方形であることを特徴とする請求項9に記載の投影露光装置。

【請求項11】 第1面上に配置されて所定のパターンを有するマスクを照明する照明光学系と；前記所定のパターンの像を像側テレセントリックな光束を用いて第2面上に配置された感光性基板上へ投影する投影光学系と；を備え、前記投影光学系は、単一の直線状に延びた光軸に沿って前記第1面と前記第2面との間の光路中に配置された複数の光学素子のみからなり、かつほぼ円形状の射出瞳を有し、前記投影光学系は、第2面上の前記光軸から外れた領域に長形状の露光フィールドを形成することを特徴とする投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、マイクロデバイス（半導体素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド、撮像素子、CCD素子等）を製造するためのフォトリソグラフィ工程中使用される投影露光装置に好適な反射屈折光学系及び該反射屈折光学系を備えた投影露光装置に関する。特に、走査型投影露光装置に適した反射屈折光学系に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体素子等を製造するためのフォトリソグラフィ工程において、フォトマスクまたはレチクル（以下、まとめてレチクルという）のパターン像を、投影光学系を介して、フォトレジスト等が塗布されたウエハまたはガラスプレート等（以下、まとめてウエハという）上に露光する投影露光装置が使用されている。半導体素子等の集積度が向上するにつれて、投影露光装置に使用されている投影光学系に要求される解像力は益々高まっている。この要求を満足するためには、照明光の波長を短くし、且つ投影光学系の開口数（以下、NAという）を大きくする必要が生じる。照明光は、 g 線（波長436nm）から i 線（波長365nm）、さらにはKrFレーザ（波長248nm）へと短波長化が進んでいる。そして、将来は、ArFレーザ（波長193nm）、F₂レーザ（波長157nm）へと移行する可能性が大きい。

【0003】照明光の波長が短くなると、光の吸収によって実用に耐える硝材の種類は限られ、波長が300nm以下になると、現在のところ実用上使える硝材は合成石英と螢石だけである。さらに波長が170nm以下では螢石のみが使用可能である。このように、屈折レンズ系のみ、特に単一の硝材のみで構成された投影光学系で

は、色収差の補正が不可能となる。一方、発振波長が200nm以下のレーザ光源は発振波長域の狭帯化が進んでいても波長にある程度の幅を有している。このため、良好なコントラストを保ったままパターンを投影露光を行うためには、 μm （マイクロメートル）オーダーの色消し収差補正が必要となる。以上のことから、色収差を補正する手段として、凹面反射鏡を含む光学系の使用が望まれ、特に露光波長が170nm以下では反射光学系が殆ど必須となっている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、投影露光装置の投影光学系の光路中に凹面鏡を用いると、レチクル側からこの凹面反射鏡に入射した光が反射されて再び元のレチクル側に逆進してしまう。このため、凹面鏡に入射する光の光路と凹面反射鏡で反射される光の光路を分離すると共に、凹面反射鏡からの反射光をウェハ方向へ導くための技術が、すなわち反射屈折光学系により投影光学系を構成する種々の技術が、従来から多く提案されている。

【0005】しかし、例えば特開平5-281469号公報に開示された光学系では、光路折り曲げミラーまたはビームスプリッターが必要となり、光学系を製造するために複数の鏡筒を要し、製造が困難であること、または光学部品の調整が困難であること等の問題が生じている。反射屈折型の光学系で用いられている光路偏向用の平面反射鏡では、入射してくる光線の方向が斜めになっている。このため、極めて高い面精度が必要となり、製造が困難になる。さらにこの平面反射鏡は振動に弱いという問題も有している。

【0006】また、米国特許第5,717,518号公報に開示された光路分離方法を用いると、光学系を構成する全ての光学要素を単一の光軸に沿って配置する事ができる。その結果、投影光学系において従来から用いられている光学部品の調整方法に従って高精度に光学系を製造する事が可能である。しかし、光軸上を進行してくる光を遮光するために中心遮蔽が必要になり、特定の周波数のパターンでコントラストの低下が起きてしまうという問題がある。

【0007】以上述べたことから、例えば0.18 μm 以下の線幅を有するパターンを焼き付けるためには、ArF又はF₂レーザ等の波長が200nm以下の光源光に対しても色収差が補正されており、中心遮蔽を行わず、NAが0.6以上の高開口数を確保でき、光路偏向がなく1本の光軸上に全ての光学部材が配された光学系が望まれている。

【0008】また、従来の投影露光装置では、露光フィールドの形状は必ずしも長方形ではなく、例えば輪帯形状になっていた。露光フィールドが輪帯形状の投影露光装置では、同面積で露光フィールドが長方形のものに比べ、露光時の1ショット分のストロークが長くなるた

め、スループットは劣っていた。さらに、露光フィールドが輪帯形状の投影露光装置では、露光フィールドが長方形のものならば適用可能である特許第2830492号に記載のような、焦点深度を広げるために僅かにマスクとウェハを傾斜させて露光する方法を採用することができなかった。以上の2点から、露光フィールドは輪帯形状よりも長方形であることが望まれていた。

【0009】本発明は上記問題に鑑みてなされたものであり、極紫外領域、特に200nm以下の波長に対しても良好に色収差補正され、高解像に必要な0.6以上の高NAを有し、全ての光学部材が1本の直線上にあり、長方形の露光フィールドを形成可能な反射屈折光学系及び該光学系を備える投影露光装置を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明の第1の態様にかかる反射屈折光学系は、像側テレセントリックな光束に基づいて第1面の像を第2面上に形成する反射屈折光学系であって、2つ以上かつ偶数個の反射面と、少なくとも1つの屈折部材とを有し、前記偶数個の反射面のうち前記第1面から数えて奇数番目の反射面のうちの少なくとも1つは凹面反射面であり、前記凹面反射面の有効径をMA1、前記少なくとも1つの屈折部材のうちの最も有効径が大きい屈折部材の有効径をRAとしたとき、

$$(MA1/RA) \leq (1/2, 1) \quad (1)$$

を満足し、前記凹面反射面の凹面は、前記第2面と反対側に向けられていることを特徴とする。ここで、第1面を出た光は、奇数番目の反射面で反射し、偶数番目の反射面で反射し、これを1回以上行うことで、第1面側に逆進することなく最終的に第2面上に結像する。また、(1)式が満足されれば、前記凹面反射面の軸外側に十分な開口を有することとなり得、これにより前記凹面反射面の凹面と反対側に位置する第2面上に十分な大きさを有する長方形の露光フィールドを確保することができる。

【0011】本発明の第2の態様は、上記第1の態様において、前記反射屈折光学系が有する凹面反射面は、唯一つである。凹面反射面は負のベッツバール和に寄与し、これにより屈折レンズで生じる正のベッツバール和を補正している。本発明では、前記有効径の小さい凹面反射面で、色収差を補正するよう構成されているために、凹面反射面のパワーが大きくなる傾向にあり、ベッツバール和の補正が過剰になり易い。これらのことより、前記有効径の小さい反射面以外の反射面は凸面にすることが好ましい。

【0012】また、本発明の第3の態様は、上記第1または第2の態様において、前記凹面反射面の焦点距離をFM1、前記第1面から前記第2面までの光軸に沿った距離をLとしたとき、

$$0.03 < |fM1|/L < 0.2 \quad (2)$$

を満足するものである。(2)式の条件より $fM1$ が大きくなると、凹面のパワーが弱くなりすぎて、(1)式を満たしながら十分な色収差補正をすることが難しい。

(2)式の条件より $fM1$ が小さくなると、前記凹面のパワーが強すぎて、凹面で発生した球面収差を屈折部材で補正する事が非常に困難になる。

【0013】本発明の第4の態様は、上記第1乃至第3の態様のうち何れか一つの態様において、前記反射屈折光学系は、反射屈折型の第1結像光学系と、前記第1結像光学系と前記第2面との間の光路中に配置された屈折型の第2結像光学系とを備え、前記第1結像光学系は、前記偶数個の反射面のうちの少なくとも2つを有するものである。

【0014】本発明の第5の態様は、上記第4の態様において、前記第1結像光学系は、少なくとも1つの正レンズ成分を含むレンズ群と、該レンズ群と前記第2結像光学系との間の光路中に配置された第1の反射面と、該第1の反射面と前記第2結像光学系との間の光路中に配置された第2の反射面とを備え、前記第1の反射面は前記凹面反射面のうちの1つを有するものである。

【0015】また、本発明の第6の態様は、上記第4または第5の態様において、前記第2結像光学系は開口絞りを含み、前記反射屈折光学系が有する全ての光学素子成分は単一の直線状に延びた光軸に沿って配置され、前記反射屈折光学系は前記第1面とほぼ平行な前記第2面上に前記像を形成するものである。

【0016】本発明の第7の態様は、上記第4乃至第6の態様のうち何れか一つの態様において、前記第2結像光学系の倍率を β としたとき、

$$| \beta | < 1/6.5 \quad (3)$$

を満足するものである。(3)の条件を満たさない場合、前記第1の反射面近くに前記第2結像光学系以前の光学系によって作られる中間像の像高が低くなってしまい、長方形の露光フィールドを作るのに十分な露光可能範囲が確保できなくなってしまう。

【0017】本発明の第8の態様は、上記第1乃至第7の態様のうち何れか一つの態様において、前記反射屈折光学系は前記第1面上に光軸から外れた視野を有し、かつ前記第2面上の光軸から外れた領域内に前記像を形成するものである。

【0018】本発明の第9の態様にかかる投影露光装置は、前記第1面上に配置されて所定のパターンを有するマスクを照明する照明光学系と；前記所定のパターンの像を前記第2面上に配置された感光性基板上へ投影するための上記第1乃至第8の態様のうちの何れか一つの態様における反射屈折光学系と；を備えることを特徴とする。

【0019】本発明の第10の態様では、上記第9の態様において、前記反射屈折光学系を介して形成される露

光フィールドは、長方形である。露光フィールドを長方形とすれば、凹面積で露光フィールドが輪帯形状のものに比べ、露光時の1ショット分のストロークを短くできるため、スループットを向上できる。さらに、前述の特許第2830492号に記載の方法を採用できるので、焦点深度を広げることができる。

【0020】本発明の第11の態様にかかる投影露光装置は、第1面上に配置されて所定のパターンを有するマスクを照明する照明光学系と；前記所定のパターンの像を像側テレセントリックな光束を用いて第2面上に配置された感光性基板上へ投影する投影光学系と；を備え、前記投影光学系は、単一の直線状に延びた光軸に沿って前記第1面と前記第2面との間の光路中に配置された複数の光学素子のみからなり、かつほぼ円形状の射出瞳を有し、前記投影光学系は、第2面上の前記光軸から外れた領域に長方形の露光フィールドを形成することを特徴とする。射出瞳がほぼ円形であることは、光軸の中心近傍に遮蔽物が存在しないことを意味している。光軸の中心近傍に遮蔽物があると、特定の周波数のパターンでコントラストの低下が起きるが、本態様によれば、この問題は解消される。

【0021】また、本発明の第12の態様にかかる投影露光装置は、第1面上に配置されて所定のパターンを有するマスクを照明する照明光学系と；前記所定のパターンの像を像側テレセントリックな光束を用いて第2面上に配置された感光性基板上へ投影する投影光学系と；を備える投影露光装置であって、前記投影光学系は、単一の直線状に延びた光軸に沿って前記第1面と前記第2面との間の光路中に配置された複数の光学素子のみからなり、かつほぼ円形状の射出瞳を有し、前記投影光学系は、第2面上の前記光軸から外れた領域に多角形状の露光フィールドを形成することを特徴とする。

【0022】また、本発明の第13の態様では、上記第12の態様において、露光フィールドは台形状または六角形状である。

【0023】また、本発明の第14の態様は、上記第1乃至第13の態様のうち何れか一つの態様において、前記投影光学系は、2つ以上かつ偶数個の反射面と、少なくとも1つの屈折部材とを有し、前記偶数個の反射面のうち前記第1面から数えて奇数番目の反射面のうちの少なくとも1つは凹面反射面としたものである。

【0024】本発明の第15の態様は、上記第14の態様において、少なくとも1つの凹面反射面の有効径を $MA1$ 、前記少なくとも1つの屈折部材のうちの最も有効径が大きな屈折部材の有効径を RA としたとき、

$$(MA1/RA) \leq (1/2.1)$$

を満足するものである。

【0025】また、本発明の第16の態様は、上記第14または第15の態様において、少なくとも1つの凹面反射面の凹面が前記第2面と反対側に向けられているも

のである。

【0026】また、本発明の第17の態様は、上記第11乃至第16の態様のうち何れか一つの態様において、投影光学系が有する凹面反射面が唯一つであるものである。

【0027】本発明の第18の態様は、上記第14乃至第17の態様のうち何れか一つの態様において、前記凹面反射面の焦点距離を $fM1$ とし、前記第1面から前記第2面までの光軸に沿った距離を L としたとき、

$$0.03 < |fM1|/L < 0.2$$

を満足するものである。

【0028】本発明の第19の態様は、上記第11乃至第18の態様のうち何れか一つの態様において、前記投影光学系は、反射屈折型の第1結像光学系と、前記第1結像光学系と前記第2面との間の光路中に配置された屈折型の第2結像光学系とを備え、前記第1結像光学系は、前記偶数個の反射面のうちの少なくとも2つを有するものである。

【0029】本発明の第20の態様は、上記第19の態様において、前記第1結像光学系は、少なくとも1つの正レンズ成分を含むレンズ群と、該レンズ群と前記第2結像光学系との間の光路中に配置された第1の反射面と、該第1の反射面と前記第2結像光学系との間の光路中に配置された第2の反射面とを備え、前記第1の反射面は前記凹面反射面のうちの1つを有するものである。

【0030】本発明の第21の態様は、上記第11乃至第20の態様のうち何れか一つの態様において、前記第2結像光学系は開口絞りを有するものである。

【0031】本発明の第22の態様は、上記第11乃至第21の態様のうち何れか一つの態様において、前記投影光学系は前記第1面とほぼ平行な前記第2面上に前記像を形成するものである。

【0032】本発明の第23の態様は、上記第19乃至第22の態様のうち何れか一つの態様において、前記第2結像光学系の倍率を β としたとき、

$$|\beta| < 1/6.5$$

を満足するものである。

【0033】また、本発明の第24の態様は、上記第10乃至第23の態様のうち何れか一つの態様において、前記露光フィールドと前記感光性基板との位置関係を変更しつつ前記パターンを前記感光性基板へ転写するものである。

【0034】また、本発明の第25の態様は、上記第9乃至第24の態様のうち何れか一つの態様にかかる投影露光装置を用いて、前記感光性基板上の露光フィールド内に前記パターンを転写する露光方法である。

【0035】

【発明の実施の形態】以下、図面に基づいて本発明の実施の形態を詳細に説明する。図1は本発明の実施の形態に係る反射屈折光学系を適用した投影光学系を備えた投

影露光装置の全体構成を概略的に示す図である。なお、図1において、投影光学系を構成する投影光学系8の光軸AXに平行にZ軸を、光軸AXに垂直な面内において図1の紙面に平行にX軸を、紙面に垂直にY軸を設定している。また、投影光学系8の物体面には所定の回路パターンが形成された投影原版としてレチクル3が配置され、投影光学系8の像面には、基板としてのフォトレジストが塗布されたウエハ9が配置されている。

【0036】光源1から射出された光は、照明光学系2を介して、所定のパターンが形成されたレチクル3を均一に照明する。光源1から照明光学系2までの光路には、必要に応じて光路を変更するための1つ又は複数の折り曲げミラーが配置される。

【0037】また、照明光学系2は、例えば露光の照度分布を均一化するためのフライアイレンズや内面反射型インテグレートからなり、所定のサイズ・形状の面光源を形成するオプティカルインテグレートや、レチクル3上での照明領域のサイズ・形状を規定するための可変視野絞り（レチクルブラインド）、この視野絞りの像をレチクル上へ投影する視野絞り結像光学系などの光学系を有する。なお、光源1から視野絞りまでの光学系として、例えば米国特許第5,345,292号に開示された照明光学系を適用することができる。

【0038】レチクル3は、レチクルホルダ4を介して、レチクルステージ5上においてXY平面に平行に保持されている。レチクル3には転写すべきパターンが形成されており、パターン領域全体が照明光学系2からの光で照明される。レチクルステージ5は、図示を省略した駆動系の作用により、レチクル面（すなわちXY平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はレチクル移動鏡6を用いた干渉計7によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

【0039】レチクル3に形成されたパターンからの光は、投影光学系8を介して、感光性基板であるウエハ9上にマスクパターン像を形成する。投影光学系8は、その瞳位置近傍に口径が可変の開口絞りAS（図2参照）を有すると共に、レチクル3側及びウエハ9側において、実質的にテレセントリックとなっている。

【0040】ウエハ9は、ウエハホルダ10を介して、ウエハステージ11上においてXY平面に平行に保持されている。そして、レチクル3上での照明領域と実質的に相似形状の露光領域にパターン像が形成される。

【0041】ウエハステージ11は、図示を省略した駆動系の作用によりウエハ面（すなわちXY平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はウエハ移動鏡12を用いた干渉計13によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

【0042】投影光学系8によって規定されるマスク3上の視野領域（照明領域）及びウエハ9上の投影領域（露光フィールド）は、X方向に沿って短辺を有する長

方形の形状である。従って、駆動系及び干渉計7、13などを用いてマスク3及びウエハ9の位置合わせを行い、図示無きオートフォーカス／オートレベリング系を用いてウエハ9を投影光学系の結像面に位置決めする。そして、長方形の露光フィールド及び照明領域の短辺方向すなわちX方向に沿ってマスクステージ5とウエハステージ11とを、ひいてはマスク3とウエハ9とを同期的に移動（走査）させる。これにより、ウエハ9上には露光フィールドの長辺に等しい幅を有し且つウエハ9の走査量（移動量）に応じた長さを有する領域に対してマスクパターンが走査露光される。

【0043】なお、光源1からウエハ9までの光路の全体にあたって、露光光がほとんど吸収されることのない窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスの雰囲気形成されている。

【0044】（第1実施例）図2は、第1実施例にかかる反射屈折光学系のレンズ構成を示す図である。反射屈折光学系は、レチクル（第1面）3の中間像I1を形成するための反射屈折型の第1結像光学系G1と、第1結像光学系G1とウエハ（第2面）9との間の光路中に配置された屈折型の第2結像光学系とを備えている。なお、第2結像光学系G2は、中間像I1からの光に基づいてレチクル3面の最終像をウエハ（第2面）9上に像側テレセントリックに形成する。

【0045】第1結像光学系G1は、少なくとも1つの正レンズ成分を含むレンズ群L1と、レンズ群L1を透過した光を反射する第1の反射面M1と、反射面M1で反射した光を第2結像光学系G2へ導くための第2の反射面M2との2つの反射面を有する。反射面M1は凹面反射面であり、反射屈折光学系が有する唯一の凹面反射面であり、その凹面はウエハ9面と反対側に向いてい

る。第2結像光学系G2は開口絞りASを有している。

【0046】反射屈折光学系が有する全ての光学素子成分は単一の直線状の光軸AX上に設けられ、レチクル3面とウエハ9面とは相互にほぼ平行な平面であり、反射屈折光学系の射出瞳はほぼ円形である。本実施例では前述の(1)式を満足するよう、反射面M1の有効径を設定し、反射面M1の軸外側には十分な開口を有して、ウエハ9面上に十分な大きさの長方形の露光フィールドを確保できるよう構成している。

【0047】第1実施例にかかる反射屈折光学系の諸元値を表1に掲げる。表1において、左端の番号はレチクル3（第1面）側からのレンズ面の順序、rは該当レンズ面の曲率半径、dは該当レンズ面から次のレンズ面までの光軸上の間隔、 β_0 は反射屈折光学系全体の倍率、NAはウエハ側（第2面側）の開口数、 λ は基準波長をそれぞれ示している。各波長における硝材の屈折率を表1の最後に掲げる。

【0048】表1中のASPは非球面を示している。非球面は、光軸に垂直な方向の高さをyとし、非球面の頂点における接平面から高さyにおける非球面上の位置までの光軸に沿った距離（サグ量）をZとし、頂点曲率半径をrとし、円錐係数を κ とし、n次の非球面係数をA～Fとしたとき、以下の数式で表される。

$$Z = (y^2/r) / [1 + \{1 - (1 + \kappa) \cdot y^2/r^2\}^{1/2}] + A \cdot y^4 + B \cdot y^6 + C \cdot y^8 + D \cdot y^{10} + E \cdot y^{12} + F \cdot y^{14}$$

ここで、本実施例の諸元値における曲率半径r、光軸上間隔dの単位の一例としてmmを用いることができる。

【0049】

【表1】

$ \beta_0 =$	1/6			
NA=	0.75			
$\lambda =$	157.6 nm			
表号	r	d	材料	
1:	472.32649	45.09813		
2:	14915.27574	21.81481	CaF2	
		110		
ASP:				
K=	0.000000			
A=	-0.475058×10^{-7}	B= 0.768324×10^{-12}	C= 0.219454×10^{-18}	
D=	$-4.592484 \times 10^{-21}$			
3:	-822.81866	43.13954	CaF2	
4:	-419.46392	65.77391		
5:	-737.34648	21.01555	CaF2	
ASP:				
K=	0.000000			
A=	0.537557×10^{-8}	B= $-0.224719 \times 10^{-13}$	C= $-0.184135 \times 10^{-18}$	
D=	7.445823×10^{-28}			
6:	-448.95007	173.86768		
7:	-151.05293	18	CaF2	
ASP:				
K=	0.000000			
A=	-0.113817×10^{-8}	B= $-0.223843 \times 10^{-13}$	C= $-0.320953 \times 10^{-14}$	
D=	$-6.111247 \times 10^{-29}$			
8:	824.54369	12.9998		
9:	-191.34743	-12.9998	(反射面)	
ASP:				
K=	0.000000			
A=	-0.390587×10^{-7}	B= $-0.632478522721 \times 10^{-11}$	C= $-0.446001 \times 10^{-16}$	
D=	$-5.088553 \times 10^{-29}$			
10:	824.54369	-18	CaF2	
11:	-151.05293	-178.86768		
ASP:				
K=	0.000000			
A=	-0.113817×10^{-8}	B= $-0.223843 \times 10^{-13}$	C= $-0.320953 \times 10^{-14}$	
D=	$-6.111247 \times 10^{-29}$			
12:	-448.95007	-21.01555	CaF2	
13:	-737.34648	-65.77391		
ASP:				
K=	0.000000			
A=	0.537557×10^{-8}	B= $-0.224724 \times 10^{-13}$	C= $-0.18413/X \times 10^{-18}$	
D=	7.456190×10^{-28}			
14:	-419.46392	-46.13954	CaF2	
15:	-822.81866	-93		
16:	-2325.76371	98	(反射面)	
17:	-822.81866	46.13954	CaF2	
18:	-419.46392	65.77391		
19:	-737.34648	21.01555	CaF2	
ASP:				
K=	0.000000			
A=	0.537557×10^{-8}	B= $-0.224724 \times 10^{-13}$	C= $-0.184137 \times 10^{-18}$	
D=	7.456190×10^{-28}			
20:	-448.95007	228.86768		
21:	592.89249	50	CaF2	
22:	5957.76560	3		
ASP:				
K=	0.000000			

A=	0.574155X10 ⁻⁸	B=	0.1301/3X10 ⁻¹³	C=	-0.652993X10 ⁻¹⁸
D=	4.487489X10 ⁻²³	E=	-0.181709X10 ⁻²⁸	F=	0.184332X10 ⁻³¹
23:	267.86087		50		CaF2
24:	1602.42805		34.79734		
25:	-1467.91941		18		CaF2
26:	-1384.72184		199.26193		
27:	-517.99106		50		CaF2
ASP:					
K=	0.000000				
A=	-0.141784X10 ⁻⁸	B=	-0.106302X10 ⁻¹²	C=	-0.266105X10 ⁻¹⁸
D=	3.094501X10 ⁻²¹	E=	-0.272688X10 ⁻²⁴	F=	0.952961X10 ⁻²⁹
28:	-2908.90491		181.07108		
29:	-176.92936		50		CaF2
30:	-132.43081		1		
31:	-238.18812		50		CaF2
ASP:					
K=	0.000000				
A=	-0.232937X10 ⁻⁹	B=	-0.509410X10 ⁻¹¹	C=	0.379990X10 ⁻¹⁶
D=	-2.273782X10 ⁻¹⁹				
32:	-886.6645		25.50054		
AStop	0		10		
33:	886.70598		23.7393		CaF2
ASP:					
K=	0.000000				
A=	-0.163078X10 ⁻⁷	B=	-0.238872X10 ⁻¹⁰	C=	-0.136514X10 ⁻¹⁴
D=	1.3880337X10 ⁻¹⁶				
34:	-512.86441		1.25881		
35:	1983.80133		19		CaF2
ASP:					
K=	0				
A=	-0.110714X10 ⁻⁸	B=	0.113316X10 ⁻¹⁰	C=	0.312633X10 ⁻¹⁴
D=	-3.332130X10 ⁻¹⁹				
36:	-800.0411		1.03525		
37:	278.12181		35.22829		CaF2
38:	-131.13867		1.88339		
ASP:					
K=	0				
A=	0.181357X10 ⁻⁸	B=	-0.286342X10 ⁻¹¹	C=	0.771643X10 ⁻¹⁶
D=	9.293225X10 ⁻²¹				
39:	143.78125		37.80336		CaF2
ASP:					
K=	0				
A=	-0.787729X10 ⁻⁷	B=	0.677365X10 ⁻¹¹	C=	0.598253X10 ⁻¹⁶
D=	-8.924197X10 ⁻²⁰				
40:	-258.50051		1		
41:	710.30329		26.6487		CaF2
ASP:					
K=	0				
A=	0.242527X10 ⁻⁸	B=	-0.512573X10 ⁻¹⁰	C=	0.240989X10 ⁻¹⁴
D=	6.433832X10 ⁻¹⁹				
42:	712.56313		2.24885		
43:	192.42958		22		CaF2
ASP:					
K=	0				
A=	0.217665X10 ⁻⁸	B=	-0.223891X10 ⁻¹⁰	C=	-0.159971X10 ⁻¹⁶
D=	-1.190836X10 ⁻¹⁷				
44:	0		12.91219		
(硝材の屈折率)					
CaF2	157.6nm+0.6pm	157.6nm	157.6nm-0.5pm		
	1.55999846	1.56	1.56000154		

【0050】条件式対応値は以下のとおりである。

$$MA1/RA = 108.8/294.7 = 1/2.7086$$

$$|fM1/L| = 95.6737/1500 = 0.06398$$

$$|B| = 1/8.4836$$

【0051】図3に、本実施例の反射屈折光学系の子午方向（タンジェンシャル方向）及び球欠方向（サジタル方向）における横収差（コマ収差）を示す。図において、Yは像高を表わし、実線は基準波長 $\lambda = 157.6$

nm, 点線は波長157.6006nm, 一点鎖線は波長157.5994nmでの取差をそれぞれ示している。取差図より明らかなように、本実施例の反射屈折光学系は、屈折光学の使用硝材が螢石のみであり、両側テレセントリックであるにもかかわらず露光領域の全てにおいて、取差がバランス良く補正されている。

【0052】図4に、本実施例のウエハ面上における露光フィールドを示す。本実施例では、外径14.19、内径6.29の円環領域の略上半分が露光可能範囲であり、そのうち4×19.5の斜線をつけた長方形を実露光フィールドとしている。上述のように光学系を構成することにより、露光可能範囲として幅の広い円環領域を得ることができ、その結果、十分な大きさの長方形の露光フィールドを確保できている。なお、露光フィールドの形状が輪帯でも良い場合には、上記の長方形よりはるかに広面積の露光フィールドが得られるため、製造のスループット向上を期待できる。

【0053】(第2実施例)図5は、第2実施例にかかる反射屈折光学系のレンズ構成を示す図である。反射屈折光学系は、レチクル(第1面)3の中間像I1を形成するための反射屈折型の第1結像光学系G1と、第1結像光学系G1とウエハ(第2面)9との間の光路中に配置された屈折型の第2結像光学系とを備えている。なお、第2結像光学系G2は、中間像I1からの光に基づいてレチクル3面の最終像をウエハ(第2面)9上に像側テレセントリックに形成する。

【0054】第1結像光学系G1は、少なくとも1つの

正レンズ成分を含むレンズ群L1と、レンズ群L1を透過した光を反射する第1の反射面M1と、反射面M1で反射した光を第2結像光学系G2へ導くための第2の反射面M2との2つの反射面を有する。反射面M1は凹面反射面であり、反射屈折光学系が有する唯一の凹面反射面であり、その凹面はウエハ9面と反対側に向いている。第2結像光学系G2は開口絞りASを有している。

【0055】反射屈折光学系が有する全ての光学素子成分は単一の直線状の光軸AX上に設けられ、レチクル3面とウエハ9面とは相互にほぼ平行な平面であり、反射屈折光学系の射出瞳はほぼ円形である。本実施例では前述の(1)式を満足するように、反射面M1の有効径を設定し、反射面M1の軸外側に十分な開口を有して、ウエハ9面上に十分な大きさの長方形の露光フィールドを確保できるよう構成している。

【0056】第2実施例にかかる反射屈折光学系の諸元値を表2に掲げる。表2中の符号は表1と同様の定義であり、非球面ASPは前述の式で表される。なお、第2実施例では、第1実施例と異なり、設計基準波長はArFレーザの発振波長に合わせて193.3nmであり、屈折硝材は全てSiO₂である。各波長における硝材の屈折率を表2の最後に掲げる。本実施例に関しても諸元値における曲率半径r、光軸上間隔dの単位の一例としてmmを用いることができる。

【0057】

【表2】

$ \beta_0 =$	1/6			
NA=	0.75			
$\lambda =$	193.3	nm		
番号	r	d		材料
		46.1271334		
1:	470.00015	21.82372		SiO ₂
2:	16128.063	110		
ASP:				
K=	0.000000			
A=	-4.758141X10 ⁻⁸	B= 0.775160X10 ⁻¹²	C= -0.421305X10 ⁻¹⁹	
D=	-4.388496X10 ⁻²¹	E= 5.338904X10 ⁻²⁶	F= -2.067768X10 ⁻²⁹	
3:	-803.05175	46.13854		SiO ₂
4:	-417.15586	65.57131		
5:	-741.66989	21.1599		SiO ₂
ASP:				
K=	0.000000			
A=	5.405047X10 ⁻⁹	B= -2.275532X10 ⁻¹⁴	C= -1.821967X10 ⁻¹⁹	
D=	9.878316X10 ⁻²⁸			
6:	-447.50613	176.3826		
7:	-150.94988	18		SiO ₂
ASP:				
K=	0.000000			
A=	-0.113778X10 ⁻⁸	B= -2.240514X10 ⁻¹¹	C= -3.214338X10 ⁻¹⁵	
D=	-6.105598X10 ⁻²⁰			
8:	827.20892	12.95785		
9:	-191.26619	-12.95785		(反射面)
ASP:				
K=	0.000000			
A=	-3.812540X10 ⁻⁷	B= -6.334671X10 ⁻¹²	C= -4.494496X10 ⁻¹⁸	
D=	-5.070487X10 ⁻²⁰			
10:	827.20892	-18		SiO ₂
11:	-150.94988	-176.3826		
ASP:				
K=	0.000000			
A=	-0.113778X10 ⁻⁸	B= -2.240514X10 ⁻¹¹	C= -3.214338X10 ⁻¹⁵	
D=	-6.105598X10 ⁻²⁰			
12:	-447.50613	-21.1599		SiO ₂
13:	-741.66989	-65.57131		
ASP:				
K=	0.000000			
A=	5.405047X10 ⁻⁹	B= -2.275532X10 ⁻¹⁴	C= -1.821967X10 ⁻¹⁹	
D=	9.878316X10 ⁻²⁸			
14:	-417.15586	-46.13854		SiO ₂
15:	-803.05175	-98		
16:	-2309.1851	98		(反射面)
17:	-803.05175	46.13854		SiO ₂
18:	-417.15586	65.57131		
19:	-741.66989	21.1599		SiO ₂
ASP:				
K=	0.000000			
A=	5.405047X10 ⁻⁹	B= -2.275532X10 ⁻¹⁴	C= -1.821967X10 ⁻¹⁹	
D=	9.878316X10 ⁻²⁸			
20:	-447.50613	228.3826		
21:	593.12879	50		SiO ₂
22:	5813.22711	8.19148		

ASP:			
K=	0.000000		
A=	5.727599×10^{-28}	B= 1.282686×10^{-14}	C= $-6.512525 \times 10^{-19}$
D=	4.479668×10^{-23}	E= $-1.316508 \times 10^{-27}$	F= 1.649802×10^{-32}
23:	268.03675	50	SiO ₂
24:	1614.27841	34.82319	
25:	-1462.7165	18.03391	SiO ₂
26:	-1381.8746	199.38927	
27:	-518.22935	50	SiO ₂
ASP:			
K=	0.000000		
A=	-0.168838×10^{-8}	B= $-1.105536 \times 10^{-13}$	C= $-2.676464 \times 10^{-17}$
D=	3.012442×10^{-21}	E= $-2.653140 \times 10^{-25}$	F= 9.249275×10^{-29}
28:	-2946.5515	181.11783	
29:	-175.83668	50	SiO ₂
30:	-132.24271	1	
31:	-238.63988	50	SiO ₂
ASP:			
K=	0.000000		
A=	-0.232916×10^{-8}	B= $-5.128493 \times 10^{-12}$	C= 3.835431×10^{-16}
D=	$-2.249344 \times 10^{-19}$		
32:	-884.08689	25.32858	
A.Stop	0	10	
33:	685.12413	23.72485	SiO ₂
ASP:			
K=	0.000000		
A=	-0.164194×10^{-7}	B= $-2.382925 \times 10^{-11}$	C= $-1.367026 \times 10^{-15}$
D=	1.387844×10^{-19}		
34:	-507.02118	1.28927	
35:	1975.90118	18	SiO ₂
ASP:			
K=	0.000000		
A=	-1.109207×10^{-7}	B= 1.133217×10^{-11}	C= 3.120153×10^{-15}
D=	$-3.325731 \times 10^{-19}$		
36:	-622.8392	1.00068	
37:	277.78015	36.22579	SiO ₂
38:	-131.19923	1.89137	
ASP:			
K=	0.000000		
A=	1.812362×10^{-7}	B= $-2.668582 \times 10^{-12}$	C= 7.709371×10^{-16}
D=	9.253679×10^{-21}		
39:	148.82937	37.79514	SiO ₂
ASP:			
K=	0.000000		
A=	-7.890397×10^{-8}	B= 6.743970×10^{-12}	C= 6.001051×10^{-16}
D=	$-8.927153 \times 10^{-20}$		
40:	-258.63129	1	
41:	718.22411	26.49302	SiO ₂
ASP:			
K=	0.000000		
A=	2.431807×10^{-7}	B= $-5.140057 \times 10^{-11}$	C= 2.400522×10^{-15}
D=	6.404831×10^{-19}		
42:	703.98608	2.33489	
43:	191.09548	22	SiO ₂
ASP:			
K=	0.000000		
A=	2.103214×10^{-7}	B= $-2.214982 \times 10^{-11}$	C= $-1.568754 \times 10^{-14}$
D=	$-1.203848 \times 10^{-16}$		
44:	0	12.91222	

(図)材の屈折率)

	193.3nm+0.46pm	193.3nm	193.3nm-0.46pm
SiO ₂	1.56032536	1.5603261	1.56032685

【0058】条件式対応値は以下のとおりである。

$$MA1/RA = 108.8/295.9 = 1/2.7197$$

$$|fM1/L| = 95.6331/1452.16 = 0.06586$$

$$|B| = 1/8.5061$$

【0059】図6に、本実施例の反射屈折光学系の子午方向（タンジェンシャル方向）及び球欠方向（サジタル方向）における横収差（コマ収差）を示す。図において、Yは像高を表わし、実線は基準波長 $\lambda = 193.3$

nm、点線は波長193.30048nm、一点鎖線は波長193.29952nmでの収差をそれぞれ示している。収差図より明らかなように、本実施例の反射屈折光学系は、屈折光学の使用硝材が石英のみであり、両側テレセントリックであるにもかかわらず露光領域の全てにおいて、収差がバランス良く補正されている。

【0060】本実施例のウエハ面上における露光フィールドは、図4に示したものと同じく4×19.5の長方形である。本実施例においても、第1実施例と同様の効果が得られる。

【0061】以上、添付図面を参照しながら本発明にかかる好適な実施形態について説明したが、本発明はかかる例に限定されないことは言うまでもない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

【0062】例えば、上記実施例では、半導体素子の製造に用いられる投影露光装置に本発明を適用しているが、レチクルまたはマスクを製造するためにガラス基板又はシリコンウエハなどに回路パターンを転写する露光装置にも、本発明を適用することができる。

【0063】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明によれば、照明光学系の光源の波長が250nm以下であり、屈折光学系で使用される屈折硝材が螢石のみである場合、または石英のみである場合、あるいは螢石、石英、BaF₂を含む複数の硝材からなる場合等、限られた硝材のみで構成される場合でも、色収差の補正が可能となるので有効である。また、極紫外領域、特に対象波長が200nm以下であっても良好に色収差補正され、高解像に必要な0.6以上の高NAを有し、長方形の露光フィールドを形成可能な反射屈折光学系を提供することができる。さらに、本発明の投影露光装置によれば、上記反射屈折光学系を備えているため、極紫外光を用いて、微細なマスクパターン像を正確に転写できる利点がある。露光フィールドを長方形とすることにより、露光フ

ィールドが輪帯形状のものに比べ、露光時の1ショット分のストロークを短くできるのでスループットを向上できるとともに、焦点深度拡大の効果も得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施例にかかる反射屈折光学系を備える投影露光装置の構成を示す図である。

【図2】 第1実施例にかかる反射屈折光学系のレンズ構成を示す図である。

【図3】 第1実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。

【図4】 本発明の実施例にかかる反射屈折光学系の、像面での露光可能範囲と露光フィールドを示す図である。

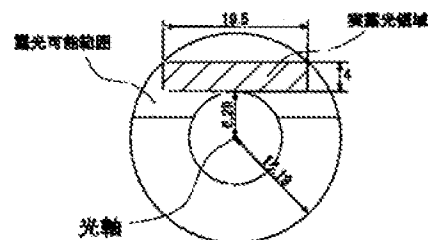
【図5】 第2実施例にかかる反射屈折光学系のレンズ構成を示す図である。

【図6】 第2実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。

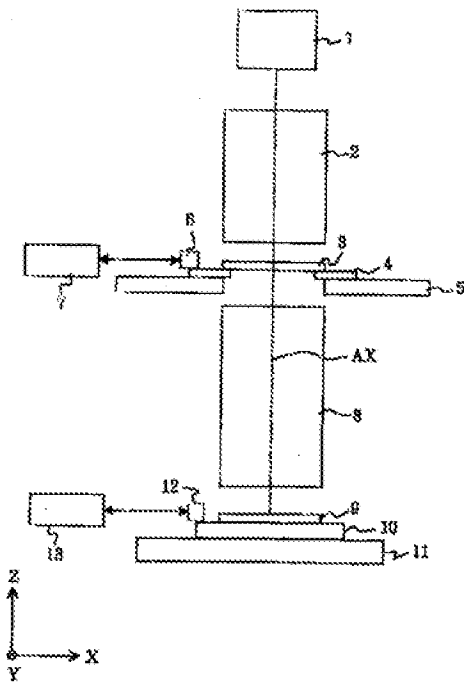
【符号の説明】

1	光源
2	照明光学系
3	レチクル
4	レチクルホルダ
5	レチクルステージ
6	レチクル移動鏡
7、13	干渉計
8	投影光学系（反射屈折光学系）
9	ウエハ
10	ウエハホルダ
11	ウエハステージ
12	ウエハ移動鏡
AS	開口絞り
AX	光軸
G1	第1結像光学系
G2	第2結像光学系
I1	中間像
L1	レンズ群
M1、M2	反射鏡

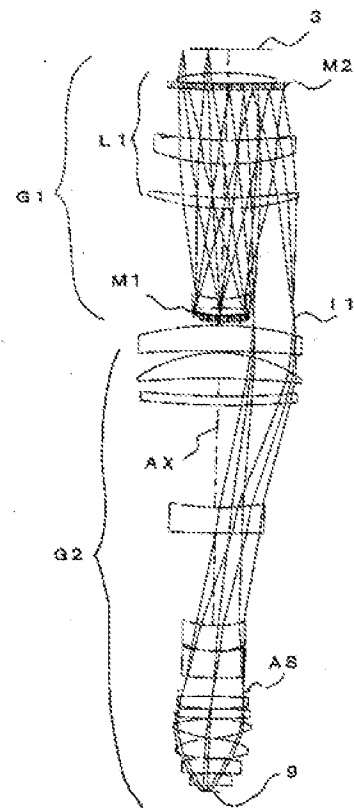
【図4】



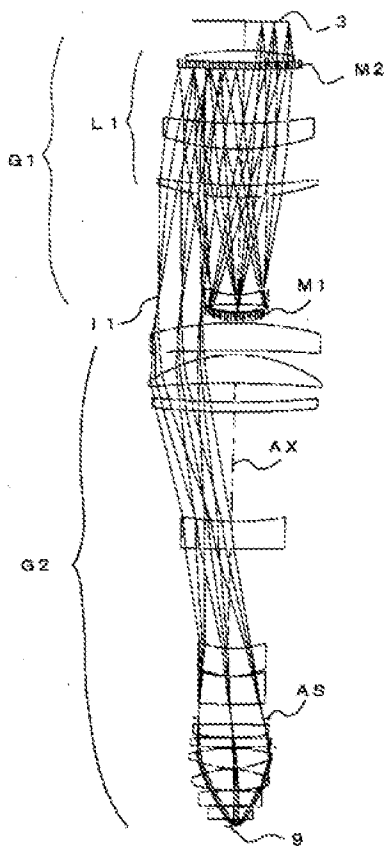
【図1】



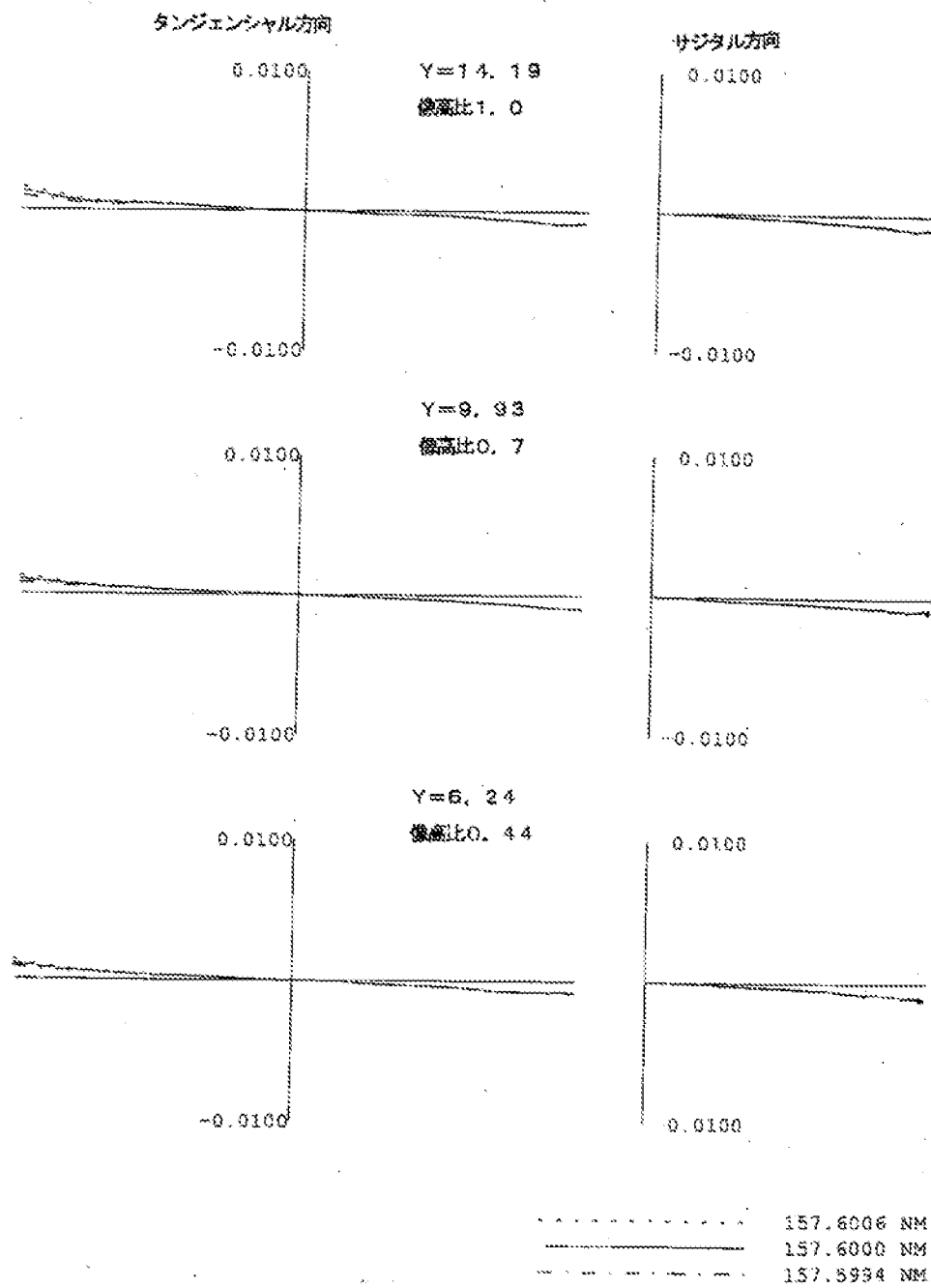
【図2】



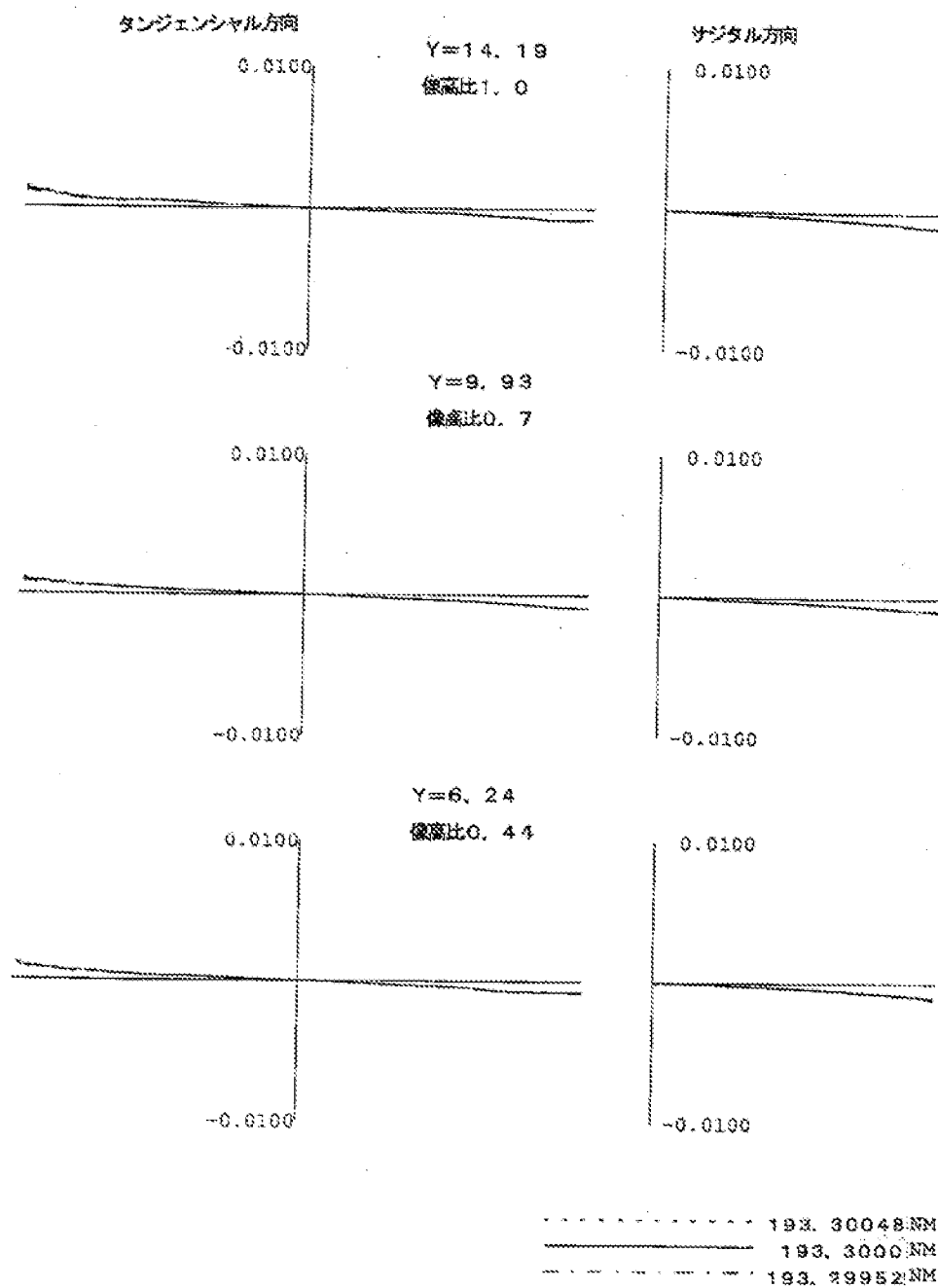
【図5】



【図3】



【図6】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.7

識別記号

FI
H01L 21/30

517

(参考)